

16  
66-

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 48 545 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 41/083**  
H 01 L 41/09  
H 01 L 41/16

⑳ Aktenzeichen: 196 48 545.2  
㉒ Anmeldetag: 25. 11. 96  
㉔ Offenlegungstag: 28. 5. 98

DE 196 48 545 A 1

㉑ Anmelder:  
CeramTec AG, 73207 Plochingen, DE  
㉓ Vertreter:  
Dr. Andreas Scherzberg et al, 53840 Troisdorf

㉒ Erfinder:  
Bindig, Reiner, 95463 Bindlach, DE; Günther,  
Andreas, Dr., 91233 Neunkirchen, DE; Helke,  
Günther, Dr., 91207 Lauf, DE; Schmieder, Jürgen,  
91207 Lauf, DE

㉕ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 33 30 538 A1  
US 54 06 164  
US 52 81 885  
US 48 45 399  
JP 07-2 26 541 A  
JP 07-1 69 998 A

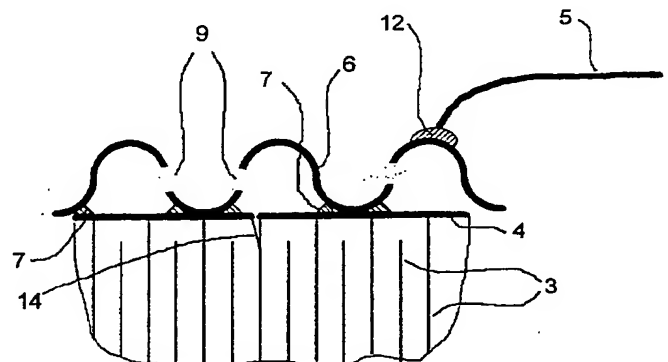
JP 2-58384 A. In: Patents Abstracts of Japan,  
E-927, May 14, 1990, Vol. 14, No. 225;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

㉖ Außenelektrode für einen monolithischen Vielschichtaktor

㉗ Die Erfindung betrifft einen monolithischen Vielschichtaktor (1) aus einem gesinterten Stapel (2) dünner Folien aus Piezokeramik mit eingelagerten metallischen Innenelektroden (3), die wechselseitig aus dem Stapel (2) herausführen und über Außenelektroden elektrisch parallel geschaltet sind, wobei die Außenelektroden auf den Kontaktseiten des Stapels (2) aus einer aufgetragenen Grundmetallisierung (4) bestehen, die mit elektrischen Anschlußelementen (5) bevorzugt über eine Lötung verbunden sind.

Zur Vermeidung von Ausfällen des Aktors bei dynamischen Belastungen wird vorgeschlagen, daß zwischen der Grundmetallisierung (4) und den Anschlußelementen (5) eine dreidimensional strukturierte, elektrisch leitende Elektrode (6) angeordnet ist, die über partielle Kontaktstellen (7) mit der Grundmetallisierung verbunden ist und zwischen den Kontaktstellen (7) dehnbar ausgebildet ist.



DE 196 48 545 A 1

Die Erfindung betrifft einen monolithischen Vielschichtaktor nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Bei Piezokeramiken wird der Effekt ausgenutzt, daß diese sich unter einem mechanischen Druck bzw. Zug aufladen und andererseits bei elektrischer Aufladung ausdehnen bzw. zusammenziehen. Zur Verstärkung dieses Effekts werden monolithische Vielschichtaktoren verwendet, die aus einem gesinterten Stapel dünner Folien aus Piezokeramik (z. B. Bleizirkonattitanat) mit eingelagerten metallischen Innenelektroden bestehen. Die Innenelektroden sind wechselseitig aus dem Stapel herausgeführt und über Außenelektroden elektrisch parallel geschaltet. Auf den Kontaktseiten des Stapels ist hierzu eine Grundmetallisierung aufgebracht, die mit den einzelnen Innenelektroden verbunden ist. Durch flächiges bzw. partielles Überdecken der Grundmetallisierung mit Lot wird diese verstärkt. Zum einen wird durch diese Verstärkung der notwendige Materialquerschnitt hergestellt um die beim Betrieb des Aktors auftretenden hohen Ströme zu tragen (ca. 20–80 Ampere). Zum anderen wird das Anlöten von elektrischen Zuleitungen ermöglicht.

Legt man eine elektrische Spannung an die Außenelektroden, so dehnen sich die Piezofolien in Feldrichtung aus. Durch die mechanische Serienschaltung der einzelnen Piezofolien wird die Nenndehnung der gesamten Piezokeramik schon bei niedrigen elektrischen Spannungen erreicht.

Die genannten monolithischen Vielschichtaktoren sind ausführlich in der DE 40 36 287 C2 beschrieben. Hier ist auch die Verwendung in einem Strömungsdurchsatz-Reguliventil angegeben.

Piezokeramik ist von Natur aus spröde und hat nur eine geringe Zugfestigkeit (ca.  $80 \cdot 10^6$  Pa). Diese wird bei Vielschichtaktoren durch die laminare Anordnung der Innenelektroden und die beim Polarisieren auftretende Anisotropie der Festigkeit weiter reduziert. Die maximal zulässige Zugspannung wird oftmals bereits beim Polarisieren überschritten, so daß unweigerlich Rißbildung auftritt.

Es gibt jedoch keinen Hinweis darauf, daß diese Art von Rißbildung unter normalen Betriebsbedingungen zum Ausfall der Aktoren führt.

Das Rißwachstum innerhalb der Keramik kann zudem durch Korngröße, Korngrenzenzusammensetzung und Porosität gut beeinflußt werden. Unter günstig eingestellten Bedingungen verlaufen Risse nicht transkristallin und werden schnell von Energiesenken an Korngrenzen und Poren gestoppt. Bereits nach ca. 1000 Belastungszyklen ist das Rißwachstum weitgehend abgeschlossen und nimmt auch nach langen Betriebszeiten ( $10^9$  Zyklen) nur noch geringfügig zu.

Kritisch können diese Risse jedoch bei hohen dynamischen Belastungen der Vielschichtaktoren werden, wenn nämlich die Risse in der Keramik die Grundmetallisierung und die aufgebrachte Lotschicht durchtrennen. Im günstigsten Falle sind dann nur einzelne Piezofolien abgetrennt. Wesentlich häufiger kommt es jedoch an der Rißkante zu Spannungsüberschlägen, die zu einer Zerstörung des Vielschichtaktors führen, da der gesamte an dieser Stelle fließende Betriebsstrom abgetrennt wird.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen monolithischen Vielschichtaktor nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 derart zu verbessern, daß auch bei hohen dynamischen Belastungen keine Zerstörung des Vielschichtaktors eintritt.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß zwischen der Grundmetallisierung und den Anschlußelementen eine dreidimensional strukturierte, elektrische leitende Elektrode angeordnet ist, die über partielle Kontakt-

stellen mit der Grundmetallisierung verbunden ist und zwischen den Kontaktstellen dehnbar ausgebildet ist. Durch diese Anordnung wird der Betriebsstrom des Aktors in Nebenströme aufgeteilt. Die Nebenströme fließen von den Kontaktstellen über die Grundmetallisierung zu den metallischen Innenelektroden und befragen typischerweise 0,5 Ampere. Für diese Ströme ist eine Verstärkung der Grundmetallisierung nicht notwendig.

Durch diese erfindungsgemäße Ausbildung wird in Kauf genommen, daß während des dynamischen Betriebs des Aktors die Grundmetallisierung Risse bekommen kann. Diese Risse können sich jedoch nicht in die dreidimensional strukturierte Elektrode fortpflanzen, da diese nur über partielle Kontaktstellen mit der Grundmetallisierung verbunden ist und zwischen den Kontaktstellen dehnbar ausgebildet ist. Der elektrische Kontakt bleibt dadurch immer erhalten, weil der in der dreidimensionalen Elektrode fließende Betriebsstrom keinesfalls unterbrochen wird. Die in der Grundmetallisierung auftretenden Risse führen nur zu einer Umlenkung der Nebenströme über die dreidimensionale Elektrode.

Unter einer dynamischen Belastung wird das Anlegen einer Wechselspannung verstanden. Die Stärke der dynamischen Belastung ist abhängig von der Flankensteilheit der einzelnen Impulse und der Frequenz. Bei hohen dynamischen Belastungen liegt die Flankensteilheit typischerweise bei 10 bis 500  $\mu$ s, die Frequenz typischerweise zwischen 10 bis 1000 Hz. Versuche, auch Langzeitversuche, haben ergeben, daß bei diesen dynamischen Belastungen keine Ausfälle der erfindungsgemäßen Vielschichtaktoren zu verzeichnen waren.

In bevorzugter Ausführungsform hebt die Elektrode zwischen den Kontaktstellen von der Grundmetallisierung ab und ist zweckmäßigerweise eine strukturierte Metallfolie. Diese Folien mit einer Dicke von ca. 50  $\mu$ m sind dehnbar und eignen sich vorzüglich für die erfindungsgemäße Elektrode.

Das Abheben von der Grundmetallisierung ist einfach zu erreichen, wenn die Elektrode einen wellenförmigen Querschnitt aufweist. Auch – von oben gesehen – ein Fischgrätmuster eignet sich vorzüglich.

Damit die Elektrode etwas von der Grundmetallisierung absteht, ist vorteilhafterweise die Elektrode an den Kontaktstellen mit Noppen versehen. Ebenso zweckmäßig ist es, wenn die Elektrode mit Durchbrüchen für Waschprozesse der Grundmetallisierung versehen ist. Durch die Waschprozesse läßt sich verwendetes Flußmittel einwandfrei entfernen.

In bevorzugter Ausführungsform ist die Elektrode als Kühlkörper ausgebildet. Dies vermindert die thermische Belastung des Aktors.

Die Elektrode kann auch zweckmäßigerweise ein Drahtgewirk, Drahtgeflecht oder ein offenporiger Metallschaum sein.

Vorteilhafterweise wird die Elektrode an den Kontaktstellen durch Löten, Kleben mit Leitkleber oder Schweißen, z. B. Laserschweißen mit der Grundmetallisierung verbunden.

Als Material für die Elektrode hat sich Bronze oder Messing als besonders vorteilhaft erwiesen.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Figuren, die nachfolgend beschrieben sind. Es zeigt

Fig. 1 schematisch einen Vielschichtaktor nach dem Stand der Technik,

Fig. 2 einen Querschnitt durch einen Vielschichtaktor nach dem Stand der Technik, der durch einen Riß unbrauchbar geworden ist,

Fig. 3 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Aktor mit einer strukturierten wellenförmigen Elektrode,

**Fig. 4** einen Aktor mit einem Drahtgewirk als Elektrode.

**Fig. 5** einen Aktor mit einem Metallschaum als Elektrode.

**Fig. 6** eine Draufsicht auf eine im Querschnitt wellenförmige Elektrode, ähnlich **Fig. 3**.

**Fig. 7** eine Draufsicht auf eine Elektrode mit einem Fischgrätmuster und

**Fig. 8** einen Schnitt entlang der Linie A-A in einem Wellental in **Fig. 6**.

**Fig. 1** zeigt schematisch einen Vielschichtaktor nach dem Stand der Technik. Der Stapel **2** besteht aus gesinterten Folien aus einer Piezokeramik mit eingelagerten metallischen Innenelektroden **3**. Die Elektroden **3** sind wechselseitig aus dem Stapel herausgeführt und über Außenelektroden elektrisch parallel geschaltet.

**Fig. 2** zeigt im Schnitt einen Ausschnitt aus dem Vielschichtaktor. Zur Parallelschaltung ist auf den Kontaktseiten des Stapels **2** eine Grundmetallisierung **4** aufgebracht. Auf dieser Grundmetallisierung **4** sind über Lötungen bzw. Lote **12** die Anschlußelemente **5** befestigt. Beim Anlegen einer Spannung an die Anschlußelemente **5** dehnt sich der Stapel **2** in Richtung der Pfeile **13** aus. Wird eine Wechselspannung entsprechender Leistung angelegt, so vollführt der Stapel im Takt der Wechselfrequenz eine Dehn- und Schrumpfbewegung.

Durch diese dynamische Belastung treten in der Keramik leicht Risse **14** auf, die im ungünstigsten Falle die Grundmetallisierung **4** und die aufgebrachte Lotschicht **12** durchtrennen.

**Fig. 3** zeigt einen Schnitt ähnlich **Fig. 2** durch einen erfindungsgemäßen Vielschichtaktor mit einer mit der Grundmetallisierung **4** verbundenen wellenförmigen dreidimensionalen Elektrode **6**. **Fig. 6** zeigt eine Draufsicht auf diese Elektrode **6**, die aus parallel angeordneten Wellentälern und Wellenbergen besteht. Diese Elektrode **6** ist an Kontaktstellen **7** mit der Grundmetallisierung **4** elektrisch leitend verbunden, z. B. durch eine Laserschweißung. Zur Reinigung der Grundmetallisierung **4** sind in der Elektrode **6** Durchbrüche **9** angeordnet. In der **Fig. 3** sind beispielhaft einige dieser Durchbrüche **9** gezeigt. Die Elektrode **6** besteht bevorzugt aus einer Metallfolie aus z. B. Bronze oder Messing. Wichtig ist hierbei, daß der Bereich zwischen den Kontaktstellen **7** dehnbar ist, so daß keine Brüche in der Elektrode **6** aufgrund von Rissen **14** in der Keramik auftreten können. Durch die große Oberfläche der Elektrode **6** läßt sich diese vorteilhaft als Kühlkörper für den Vielschichtaktor verwenden. Die Anschlußelemente **5** können an irgendeiner Stelle mit der Elektrode **6** verbunden werden.

**Fig. 4** zeigt einen Aktor mit einem Drahtgewirk **10** als Elektrode **6**. Die einzelnen Kontaktstellen bzw. Lötungen des Drahtgewirks **10** mit der Grundmetallisierung sind wieder mit dem Bezugszeichen **7** gekennzeichnet. Es ist gut zu erkennen, daß ein Riß **14** zu keiner Durchtrennung der Elektrode **6** führt, da der Riß **14** elektrisch durch die Elektrode **6** überbrückt wird.

**Fig. 5** zeigt einen Aktor mit einem Metallschaum **11** als Elektrode **6**. Der Metallschaum **11** ist bevorzugt offenporig ausgebildet. Die Kontaktstellen bzw. die einzelnen Lötunkte sind hier der Einfachheit halber nicht eingezeichnet. Ansonsten bezeichnen dieselben Bezugszeichen gleiche Gegenstände.

**Fig. 6** zeigt, wie schon beschrieben, in Draufsicht eine wellenförmige Elektrode **6**. Die Wellenzüge verlaufen hier geradlinig und sind parallel angeordnet.

In **Fig. 7** ist in Draufsicht eine Elektrode **6** mit einem Fischgrätmuster gezeigt. Auch hier ist jeweils einem Wellental ein Wellenberg benachbart angeordnet.

**Fig. 8** zeigt einen Schnitt entlang der Linie A-A in einem

Wellental in **Fig. 6**. Die Elektrode **6** berührt hier mit Noppen **8** die Grundmetallisierung.

Es sind für einen Fachmann diverse andere Elektrodenformen denkbar, wobei immer sichergestellt sein muß, daß die Elektrode nur über eine Anzahl von Kontaktstellen, d. h. nicht vollflächig die Grundmetallisierung berührt und der Zwischenbereich zwischen zwei Kontaktstellen in Bezug auf die Ausdehnung und Kontraktion des Stapels eine gewisse Dehnung ausführen kann, so daß die Elektrode **6** in diesem Bereich bei einem auftretenden Riß in der Keramik nicht durchtrennt wird.

#### Patentansprüche

1. Monolithischer Vielschichtaktor (**1**) aus einem gesinterten Stapel (**2**) dünner Folien aus Piezokeramik mit eingelagerten metallischen Innenelektroden (**3**), die wechselseitig aus dem Stapel (**2**) herausführen und über Außenelektroden elektrisch parallel geschaltet sind, wobei die Außenelektroden auf den Kontaktseiten des Stapels (**2**) aus einer aufgetragenen Grundmetallisierung (**4**) bestehen, die mit elektrischen Anschlußelementen (**5**) bevorzugt über eine Lötung verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen der Grundmetallisierung (**4**) und den Anschlußelementen (**5**) eine dreidimensional strukturierte, elektrisch leitende Elektrode (**6**) angeordnet ist, die über partielle Kontaktstellen (**7**) mit der Grundmetallisierung verbunden ist und zwischen den Kontaktstellen (**7**) dehnbar ausgebildet ist.
2. Vielschichtaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (**6**) zwischen den Kontaktstellen (**7**) von der Grundmetallisierung (**4**) abhebt.
3. Vielschichtaktor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (**6**) eine strukturierte Metallfolie ist.
4. Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (**6**) einen wellenförmigen Querschnitt aufweist.
5. Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (**6**) an den Kontaktstellen (**7**) mit der Grundmetallisierung (**4**) mit Noppen (**8**) versehen ist.
6. Vielschichtaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (**6**) mit Durchbrüchen (**9**) für Waschprozesse der Grundmetallisierung (**4**) versehen ist.
7. Vielschichtaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (**6**) als Kühlkörper ausgebildet ist.
8. Vielschichtaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (**6**) ein Drahtgewirk/Drahtgeflecht (**10**) oder ein offener Metallschaum (**11**) ist.
9. Vielschichtaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (**6**) an den Kontaktstellen (**7**) durch Löten, Kleben mit Leitleber oder Schweißen, z. B. Laserschweißen mit der Grundmetallisierung (**4**) verbunden ist.
10. Vielschichtaktor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode (**6**) aus Bronze oder Messing hergestellt ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

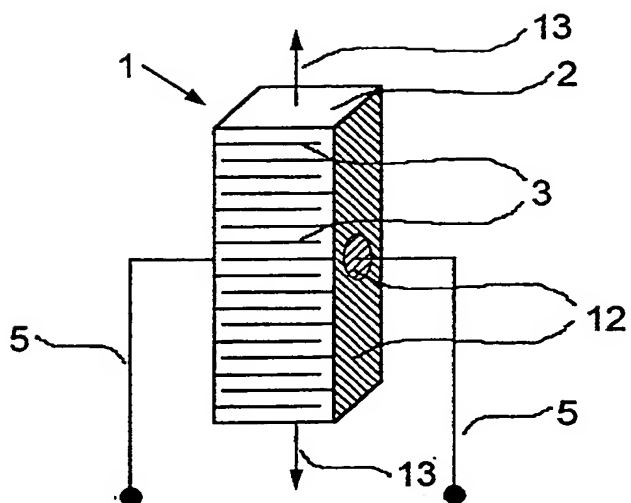


Fig. 1

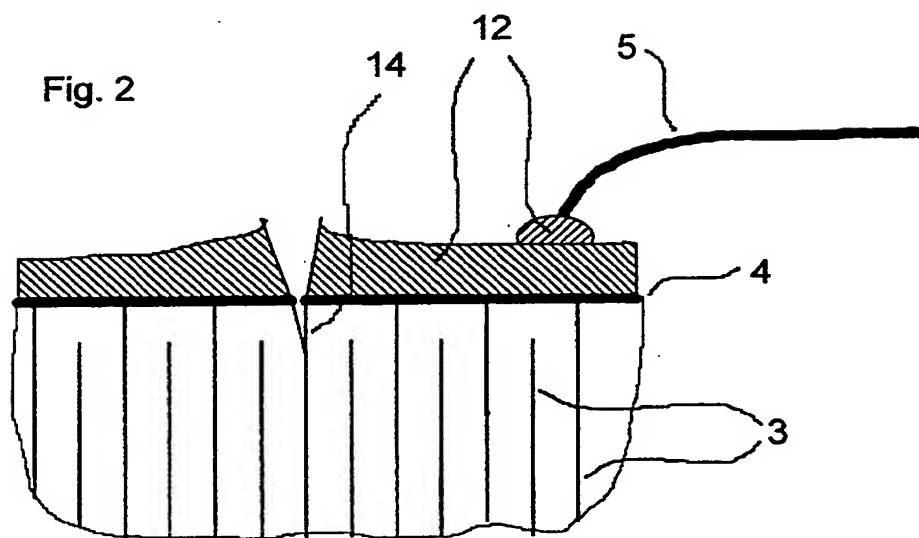


Fig. 2



Fig. 3

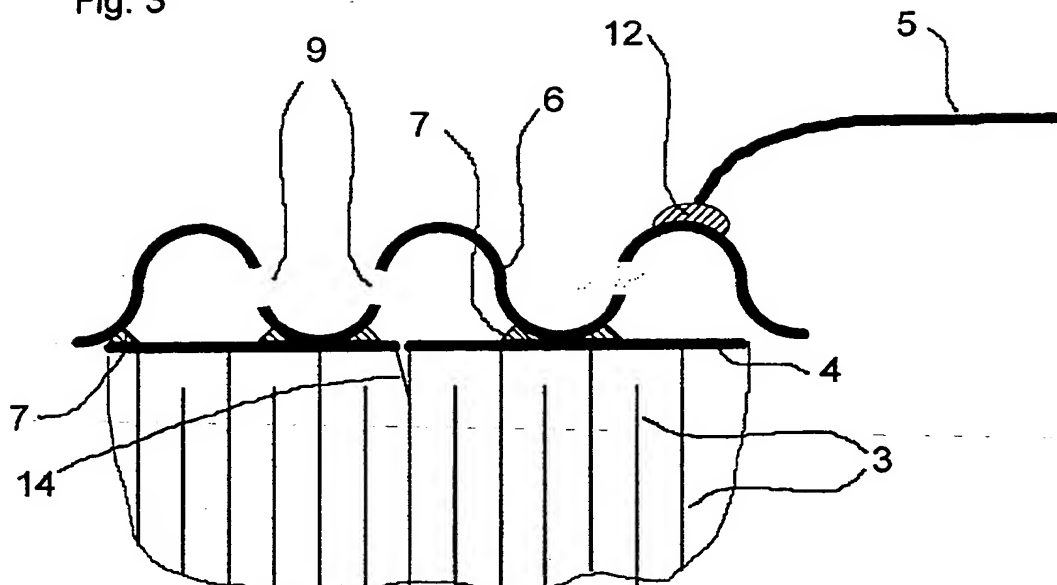


Fig. 4

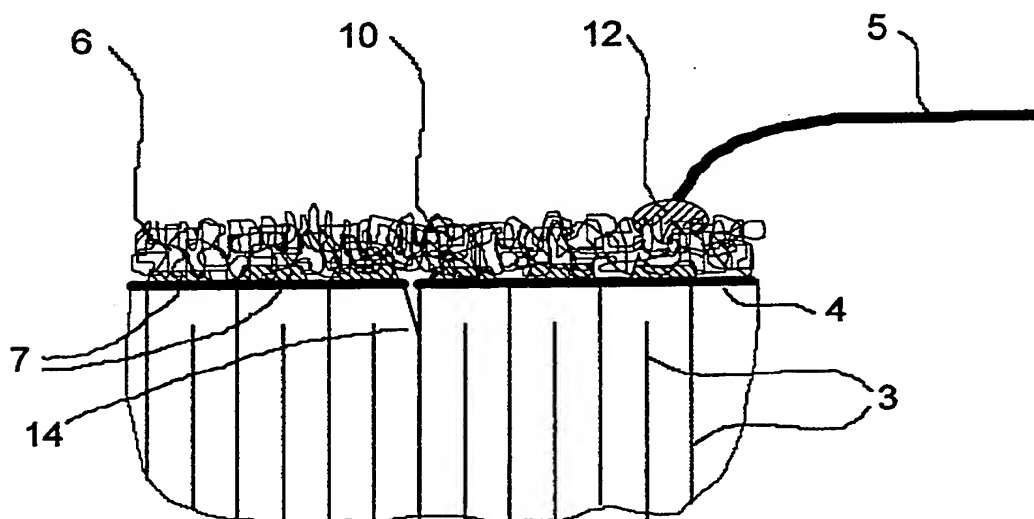


Fig. 5

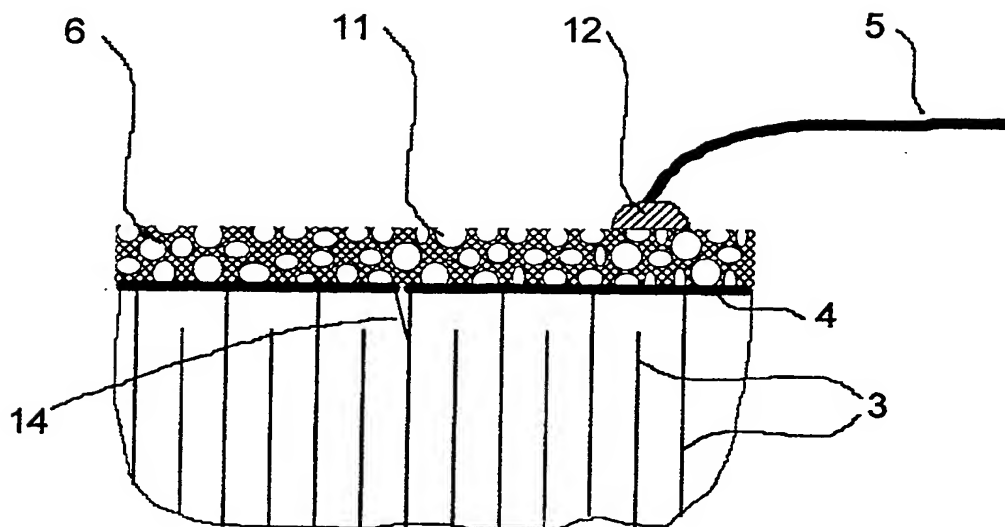


Fig. 6

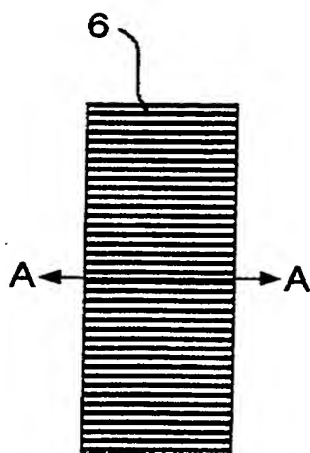


Fig. 7

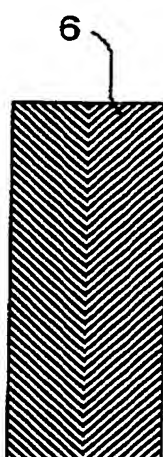


Fig. 8

